Boll. Soc. Hist. Nat. Balears, 30 (1986): 51-59. Palma de Mallorca

RELACIONES ENTRE NUTRIENTES Y CLOROFILA "a" EN LAS AGUAS DE LA ALBUFERA DE ALCUDIA (MALLORCA). PRIMEROS RESULTADOS

G. RAMON, A. MARTÍNEZ TABERNER y G. MOYÀ[1]

PALABRAS CLAVE: Lagunas costeras. Nutrientes. Clorofila. Mallorca.

KEYWORDS: Coastal lagoons. Nutrients. Chlorophyll. Majorca.

RESUMEN: Durante el verano de 1983 se procedió a muestrear un total de 39 estaciones ubicadas en el seno de la Albufera de Alcúdia (Mallorca), un complejo ecosistema de aguas salobres que incluye lagunas costeras y una amplia red de canales artificiales.

Los resultados que se presentan ponen de manifiesto la eutrofización del sistema; con unos valores medios de nutrientes que alcanzan concentraciones de 35.37 µg−at $N-NO_3$/l y 2.29 µg −at $P-PO_4$/l. Igualmente la biomasa fitoplanctónica, estimada a partir de la concentración de clorofila, es muy elevada, alcanzándose unos valores promedio en superfície de 45.67 mg clor. "a"/m^3. No obstante el sistema integrado por la Albufera de Alcúdia viene caracterizado por una gran heterogeneidad en los valores de nutrientes y clorofila.

El sistema principal de canales artificiales determina la separación de dos zonas con características bien diferenciadas respecto a los valores de nutrientes y clorofila y a las relaciones existentes entre los mismos.

RESUM: L'Albufera d'Alcúdia (Mallorca) constitueix un ecosistema d'aigües salobroses d'elevada complexitat, que inclou alguns estanys o llacunes costaneres i una xarxa de canals artificials. Aquest ecosistema va esser mostrejat a l'estiu de 1983, recollint-se aigua d'un total de 39 estacions diferents.

(1) Departament de Biologia i Ciències de la Salut. Facultat de Ciències. Universitat de les Illes Balears. 07071 Palma

Els resultats obtinguts mostren clarament que l'ecosistema es troba eutrofitzat, arribant els valors promig de nutrients a unes concentracions de 35.37 µg–at $N-NO_3/l$ i 2.29 µg–at $P-PO_4/l$; així mateix la biomassa fitoplanctònica, en termes de clorofil·la "a", és molt gran i arriba a uns valors promig a l'aigua superficial de l'ordre de 45.67 mg clor. "a"/m^3. Malgrat tot, la característica principal de l'Albufera d'Alcúdia és la de presentar una gran heterogeneitat en els valors de nutrients i clorofil·la.

El principal sistema de canals artificials separa l'Albufera en dues zones amb unes característiques ben diferenciades en relació als valors de nutrients i de clorofil·la i a llurs relacions.

SUMMARY: RELATIONSHIP BETWEEN NUTRIENTS AND CLOROPHYLL "a" IN THE ALBUFERA OF ALCUDIA (MALLORCA). The Albufera of Alcúdia, a complex brackish water ecosystem including coastal lagoons and artificial channels, was sampled at 39 collection sites during summer 1983.

The system is eutrophic. The average values for nutrient concentrations are 35.37 µg–at $N-NO_3/l$ and 2.29 µg–at $P-PO_4/l$; and the phytoplankton standing crop is very high with an average in surface water of circa. 45.67 mg chl. "a"/m^3. However, a characteristic of this system is a great heterogeneity of nutrients and chlorophyll.

The main artificial channel system determines the boundary of two different zones characterized by particular nutrient and chlorophyll values and relationships between them.

INTRODUCCIÓN

La Albufera de Alcúdia constituye la principal zona húmeda de la isla de Mallorca, situada en su porción NE (figura 1) y en los términos municipales de Alcúdia, Muro y Sa Pobla.

La extensión primitiva de la zona anegada ha sido calculada en unas 2.600 Has, hallándose reducida en la actualidad a casi la mitad de dicha superficie.

La regresión de los terrenos inundados se debe fundamentalmente a la desecación para la explotación turística del suelo, con una muy particular incidencia a partir de los años sesenta, sin que tal actividad se viera mermada en absoluto por el hecho de ser la Albufera de Alcúdia una de las diez zonas españolas incluidas en la lista MAR aparecida en 1965 y que comprendía un total de 217 zonas húmedas de Europa Occidental y Norte de Africa gravemente amenazadas. La problemática inherente a la Albufera de Alcúdia es desgraciadamente algo generalizado a la totalidad de las zonas húmedas, siendo muy claro el pararelismo existente entre las Albuferas de Alcúdia y de Valencia (DAFAUCE, 1975; VELEZ, 1979). No obstante, recientemente se

ha procedido a la adquisición, por parte del gobierno autónomo, de una porción de la zona con vistas a su gestión.

Los hechos hasta ahora apuntados son ya de por sí motivo suficiente para justificar el interés que puede tener el conocimiento de determinados aspectos limnológicos de la Albufera de Alcúdia. A ellos se deben añadir las siempre reiteradas características reseñadas para las zonas húmedas costeras, tales como su complejidad, su elevada productividad y el hecho de ser áreas de recursos alimenticios importantísimos.

La situación geográfica es sin duda otro factor a tener en consideración, pues se ha señalado que las lagunas costeras mediterráneas están dotadas de unas peculiaridades que las hacen claramente diferentes de los ecosistemas atlánticos comparables, como consecuencia de la variedad de tipologías y condiciones climáticas existentes en el Mediterráneo, determinantes de una práctica imposibilidad de establecimiento de generalizaciones válidas (CARRADA *et al.*, 1983).

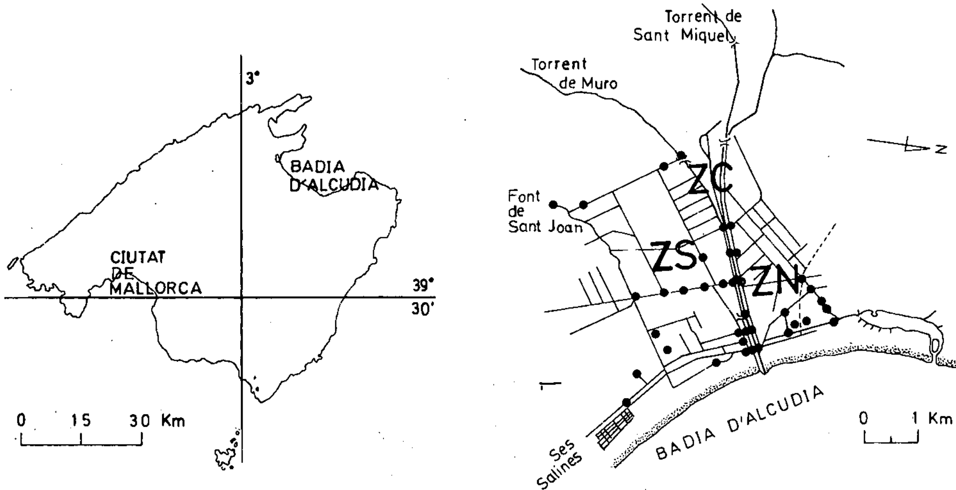


Fig. 1.–Localización de la Albufera de Alcúdia. Se indican las estaciones de muestreo y las tres zonas propuestas en este estudio.

The study area. Sampling sites and the three zones proposed in this study are indicated.

Por otra parte, la Albufera de Alcúdia constituye un ecosistema prácticamente desconocido desde el punto de vista limnológico. Después de las referencias aportadas por MARGALEF (1953) y de los trabajos de conjunto y de tipo multidisciplinar, mayoritariamente divulgativos, publicados por LLORENS *et al.* (1976), BARCELO & MAYOL (1980) y BARCELO *et al.* (1985) en los que se incide fundamentalmente en aspectos descriptivos –raramente se han considerado las comunidades acuáticas–, no se dispone de estudios que aborden la dinámica del ecosistema.

Al objeto de emprender la primera fase de un estudio limnológico amplio sobre la Albufera de Alcúdia se procedió inicialmente a efectuar un muestreo extenso que posibilitase un primer conocimiento de la realidad actual y sirviese para fijar unas estaciones de muestreo claramente diferenciadas y significativas. Una parte de los resultados obtenidos fueron expuestos anteriormente (MARTINEZ TABERNER *et al.*, 1985), en el presente artículo se relata y discute otro aspecto concreto de tales resultados.

MATERIAL Y METODOS.

Durante el verano de 1983, los meses de julio y primera quincena de agosto, se recorrió la Albufera de Alcúdia hasta completar un total de 39 estaciones (figura 1). En cada una de ellas se procedió a la obtención de una muestra de agua superficial haciendo uso de un tomamuestras LaMotte JT-1 de un litro de capacidad. Sólo en las estaciones con una cierta altura de la columna de agua se procedió a la obtención de muestras de las capas profundas.

Las muestras, una vez transportadas al laboratorio, fueron divididas en fracciones para la verificación de las distintas variables. Concretamente la fracción sobre la que se realizarían los análisis de nutrientes se guardó congelada a –10°C, hasta el momento de las determinaciones que se realizaron haciendo uso de los métodos habituales (STRICKLAND & PARSONS, 1972) adaptados a la utilización de un aparato de medición automática (TECHNICON AUTOANALYZER II, 1972, 1973a y 1973b).

Para la determinación de los pigmentos fotosintéticos se filtró un volumen variable de agua, siempre próximo a 1 litro, a través de un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C, extrayendo los pigmentos en alcohol metílico del 90 % en la oscuridad y a 4°C durante 24 horas. La densidad óptica de los extractos se determinó espectrofotométricamente y las concentraciones de clorofila "*a*" se calcularon aplicando la fórmula de TALLING & DRIVER (1963).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el conjunto de las estaciones muestreadas se han resumido en la tabla 1.

Inicialmente se ha de remarcar que el valor de los resultados presentados debe ser interpretado en su contexto adecuado. Tales resultados corresponden en su totalidad a los meses de verano y una de las características que más se han destacado para las zonas húmedas que incluyen lagunas costeras es la variación estacional, con diferencias notorias y muy significativas, de los diferentes parámetros, a lo largo del año (DAFAUCE, 1975; COMIN & FERRER, 1979; ARDIZZONE *et al.*, 1983; DOWIDAR & ABDEL MOATI, 1983; COMIN, 1984).

La primera característica a reseñar es la amplia oscilación constatable para todas y para cada una de las variables analizadas en el conjunto de la Albufera de Alcúdia (tabla 1). Ello puede ser considerado como habitual por

$N-NO_2^-$ μG-AT/L	3.23 0.06 - 22.15
$N-NO_3^-$ μG-AT/L	35.37 0.18 - 111.04
$P-PO_4^{\equiv}$ μG-AT/L	2.29 0.15 - 48.65
RELACION N:P	138.19 0.09 - 606.16
CLOROFILA A MG/M^3	45.67 2.78 - 352.13

Tabla 1.—Valores medios, mínimos y máximos de nutrientes y clorofila en todo el conjunto de la Albufera de Alcúdia.

Average, minimum and maximum values for nutrients and chlorophyll in the Albufera of Alcúdia.

tratarse de un ecosistema en condiciones de frontera y con un grado extremo de asimetría transversal (MARGALEF, 1983). En efecto, en los momentos de obtención de las muestras, la Albufera de Alcúdia se nos presenta como un sistema complejo y heterogéneo. En el mismo se pueden diferenciar unos canales con una circulación importante de agua y directamente comunicados con el mar; un conjunto amplio de canales en los que la circulación del agua es mínima o nula y una serie de estanques de distintas dimensiones. Todo el conjunto manifiesta un marcado gradiente de concentración salina creciente según la dirección SW–NE, si bien complicado por la existencia de un importante número de surgencias de aguas subterráneas de bajo contenido salino (MARTINEZ TABERNER *et al.*,1985).

Otro aspecto a remarcar reside en los elevados valores promedio obtenidos, en comparación con los referidos para diferentes lagunas costeras mediterráneas (DAFAUCE, 1975; GUELORGET *et al.*, 1983; COMIN, 1984), si bien no constituyen una excepción y se pueden encontrar citados algunos similares (DOWIDAR & ABDEL MOATI, 1983; DOWIDAR & HAMZA, 1983).

Cuando se comparan los resultados obtenidos para la concentración de clorofila "*a*" con los de la concentración de nutrientes para todo el conjunto de la Albufera, no se aprecia ningún tipo de relación destacable, así como tampoco es observable al relacionar entre sí los distintos nutrientes analizados. Los coeficientes de correlación entre los diferentes parámetros arrojan valores muy poco significativos; por lo que, al menos inicialmente, se descarta la existencia de correlaciones entre la concentración de clorofila y la de nutrientes para las aguas de la Albufera de Alcúdia, globalmente consideradas.

Al observar la distribución espacial de los valores obtenidos es cuando se constata la existencia de diferencias muy significativas, y marcadamente opuestas para las distintas variables analizadas, entre las dos zonas situadas a uno y otro lado del sistema de canales centrales (figura 1). En base a ello es posible agrupar las distintas estaciones muestreadas en tres zonas: la correspondiente a los canales centrales (ZC), la situada al Norte de los mismos (ZN) y la situada al Sur de ellos (ZS). Los resultados de las distintas variables analizadas, considerados por separado y referidos de forma simplificada, se hallan recogidos en la tabla 2.

La Zona Sur viene caracterizada por unas concentraciones elevadas de compuestos inorgánicos de nitrógeno, principalmente nitratos, en sus aguas; mientras las concentraciones de fósforo, aún siendo importantes, son las más bajas de toda la Albufera. Ello conduce a unos máximos valores en la relación N:P. La mayor riqueza en nitrógeno puede ser atribuída inicialmente a unas

aguas subterráneas con mayores proporciones de este elemento en disolución y a la acción de lavado de las aguas superficiales sobre terrenos de cultivo abonados.

La concentración de clorofila "*a*" en la Zona Sur es notable dentro del conjunto de valores hallados para ambientes epicontinentales, no obstante supone los resultados más bajos en el ecosistema que nos ocupa. Este parámetro manifiesta una correlación directa claramente significativa (r = 0.75) con la concentración de fósforo disuelto en las aguas de la misma zona, por lo que dicho elemento puede ser considerado aquí como el regulador del desarrollo del fitoplancton, si bien dadas las concentraciones de fósforo halladas (tabla 2), no parece ejercer un efecto limitante. La posible limitación del crecimiento del fitoplancton, evaluado por la concentración de clorofila "*a*" en las aguas, sería debida seguramente a las interacciones con los macrofitos, particular-

	ZS	ZC	ZN
$N - NO_2^-$	2.44	5.48	0.10
μG-AT/L	0.07 - 22.15	0.12 - 15.24	0.06 - 0.129
$N - NO_3^-$	58.17	18.81	1.61
μG-AT/L	0.18 - 111.04	0.41 - 35.33	0.28 - 9.25
$P - PO_4^{\equiv}$	0.29	4.16	1.62
μG-AT/L	0.15 - 0.53	0.20 -48.65	0.38 - 4.97
RELACION	250.36	81.95	2.27
N:P	0.09 - 606.16	0.35 - 253.30	0.10 - 12.80
CHL A	7.40	55.26	98.97
MG/M^3	2.78 - 14-89	3.13 - 352.13	32.32 - 216.84

Tabla 2.—Valores medios, mínimos y máximos de nutrientes y clorofila en las tres áreas propuestas para la Albufera.

Average, minimum and maximum values for nutrients and chorophyll for the three proposed areas in the Albufera.

mente desarrollados y extendidos en esta zona de la Albufera, en las que sin duda se presentarían relaciones como las descritas por JUPP & SPENCE (1977).

La Zona Norte presenta unas características claramente opuestas a las anteriormente comentadas (tabla 2). La concentración ligeramente superior de fósforo en sus aguas y la notablemente inferior de nitrógeno conducen a una relación N:P sensiblemente baja, si bien coincidente con la hallada en algunas lagunas costeras (COMIN, 1984). La concentración de clorofila "*a*" alcanza los máximos para todo el conjunto de la Albufera y es debida al considerable desarrollo del fitoplancton. La clorofila muestra correlaciones inversas con los nutrientes, por ejemplo ($r = -0.43$) con el fósforo. El desarrollo masivo del fitoplancton producirá un consumo notable de nutrientes, pudiendo explicarse así dichas correlaciones negativas y los bajos valores de nitrógeno en las aguas, si bien tales valores también podrían ser consecuencia de las diferencias hidrológicas de la zona. Las mayores concentraciones de fósforo son posiblemente claro reflejo de la acción antropogénica, dada la proliferación de hoteles y urbanizaciones en buena parte de la zona y que llegan a entrar en contacto directo con la misma masa de agua en muchos puntos.

La Zona de Canales no presenta unas tendencias claramente definidas para las variables analizadas. Este hecho y la ausencia de un gradiente marcado para tales parámetros son consecuencia sin duda de la influencia ejercida en cada punto por las aguas de una u otra zona vecina y complicada por la existencia de surgencias de aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA

ARDIZZONE, G. D., M. GIARDINI & G. TRIPALDI. 1983.– Nutrient pathways in Burano lagoon. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28: 193-194.

BARCELÓ, B. & J. MAYOL (Coords.). 1980.– *Estudio ecológico de la Albufera de Mallorca.* Departamento de Geografía. Universidad de Palma de Mallorca. 406 pp.

BARCELÓ, B., A. MUNTANER, C. PICORNELL, A. MARTINEZ TABERNER, M. RAYO, M. A. MARCH, T. GRAU, F. RIERA, J. MAYOL, J. R. JURADO, J. SIMARRO, J. SUREDA & M. CASTELLO. 1985.– S'Albufera d'Alcúdia. *Lluc*, 720: 4-40.

CARRADA, G. C., M. COTTIGLIA & E. FRESI. 1983.– Mediterranean coastal lagoons: an ecological and economic challenge. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28: 129-130.

COMIN, F. A. & X. FERRER. 1979.– Les llacunes litorals. *Quad. Ecol. Apl. (Barcelona),* 4: 51-68.

COMIN, F. A. 1984.– Características físicas y químicas y fitoplancton de las lagunas costeras , Encañizada, Tancada y Buda (Delta del Ebro). *Oecologia aquatica,* 7: 79-162.

DAFAUCE, C. 1975.– *La albufera de Valencia. Un estudio piloto.* Monografías Nº 4. ICONA. Madrid. 127 pp.

DOWIDAR, N. M. & A. R. ABDEL MOATI. 1983.– Distribution of nutrients salts in lake Manzalah, Egypt. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28: 185-188.

DOWIDAR, N. M. & W. R. HAMZA. 1983.– Primary productivity and biomass of lake Manzalah, Egypt. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 28: 189-192.

GUELORGET, O., G. F. FRISONI, M. C. XIMENIS & J. P. PERTHUISOT. 1983.– Contribution a l'evaluation des niveaux trophiques dans trois lagunes du littoral oriental corse (Biguglia, Diana, Urbino). *Rapp. Comm. int. mer Médit.*, 28: 355-358.

JUPP, B. P. & D. H. N. SPENCE. 1977.– Limitation on macrophytes in a eutrophic lake, Loch Leven. I. Effects of phytoplankton. *J. Ecol.*, 65: 175-186.

LLORENS. LL., J. MAYOL, B. BARCELÓ, J. MELIÀ, N. IÑESTA, G. OLIVER, J. R. JURADO & J. A. XIMENIS. 1976.– *Per què volem salvar s'Albufera d'Alcúdia.* G. O. B., Gràfiques Miramar. Palma de Mallorca. 24 pp.

MARGALEF, R. 1953.– Materiales para la hidrobiología de la isla de Mallorca. *Publ. Inst. Biol. Apl.*, 15: 5-111.

MARGALEF, R. 1983.– *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.

MARTÍNEZ TABERNER, A., G. MOYÀ & G. RAMON. 1985.– Aportación al conocimiento de la mineralización de las aguas de la Albufera de Alcúdia (Mallorca). Intento de clasificación. *Boll. Soc. Hist Nat. Balears,* 29: 87-108.

STRICKLAND, J. & T. R. PARSONS. 1972.– A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 167: 1-311.

TALLING, J. F. & D. DRIVER. 1963.– Some problems in the estimation of chlorophyll-a in phytoplankton. *"Proc. Conf. Primary Productivity Measurements, Marine and Freshwater". Hawai, 1961. U. S. Atomic Energy Commm. TID-76,* 33: 142-146.

TECHNICON AUTOANALYZER II. 1972.– *Nitrate and Nitrite in water and seawater.* Industrial Method No 158-71W/Preliminary. Technicon Instruments Corporation. Tarrytown.

TECHNICON AUTOANALYZER II. 1973a.– *Ortophosphate in water and seawater.* Industrial Method No 155-71W/Tentative. Technicon Instruments Corporation. Tarrytown.

TECHNICON AUTOANALYZER II. 1973b.– Nitrite in water and seawater. Industrial Method No 161-71W/Tentative. Technicon Instruments Corporation. Tarrytown.

VÉLEZ, F. 1979.– *Impactos sobre zonas húmedas naturales*. Monografías N° 20. ICONA. Madrid. 29 pp.